

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-335120

(43)公開日 平成11年(1999)12月7日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>  
C 0 1 G 3/00  
1/00  
H 0 1 B 12/00  
13/00  
識別記号  
Z A A  
Z A A  
5 6 5

F I  
C 0 1 G 3/00  
1/00  
H 0 1 B 12/00  
13/00  
Z A A  
S  
Z A A  
5 6 5 D

審査請求 未請求 請求項の数7 F D (全 4 頁)

(21)出願番号 特願平10-160019

(22)出願日 平成10年(1998)5月26日

(71)出願人 000006655

新日本製鐵株式会社

東京都千代田区大手町2丁目6番3号

(72)発明者 森田 充

神奈川県川崎市中原区井田3丁目35番1号

新日本製鐵株式会社技術開発本部内

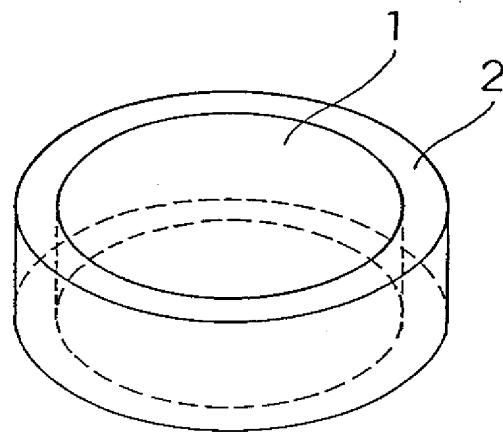
(74)代理人 弁理士 萩原 康弘

(54)【発明の名称】 バルク超電導部材とマグネットおよびそれらの製造方法

(57)【要約】

【目的】 高磁場を発生することが可能なバルク超電導部材およびマグネットを提供する。

【構成】 超電導相中に非超電導相が微細分散したバルクを補強材との熱膨張係数の違いにより、均等に加圧することで、磁石の電磁力によるバルクの割れを防ぐ。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】  $\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ （ここでREはY、Pr、Nd、Sm、Eu、Gd、Dy、Ho、Er、Tm、Yb、Luから選ばれる1種類または2種類以上の元素）相中に $\text{RE}_2\text{BaCuO}_6$ または $\text{RE}_4\text{Ba}_2\text{Cu}_2\text{O}_{10}$ が微細分散した酸化物超電導体を用いた円柱状または円筒状の超電導バルク材料とこれを囲む金属リングにより構成され、金属リングによる圧縮応力が該超電導バルク材料の側面全体に加わっていることを特徴とするバルク超電導部材。

【請求項2】 酸化物超電導体がPt、Rh、Ceおよび／またはAgを含有していることを特徴とする請求項1記載のバルク超電導部材。

【請求項3】 超電導バルク材料と金属リングの間に樹脂が挿入されていることを特徴とする請求項1または2記載のバルク超電導部材。

【請求項4】 77Kにおいて内径が $d_1$ の金属リングと直径が $d_2$ の超電導バルク材料（ここで $d_1 < d_2$ ）とを用い、77K以上の温度にて金属リング中に超電導バルク材料を挿入する工程を有することを特徴とする請求項1または2記載のバルク超電導部材の製造方法。

【請求項5】 内径 $d_1$ の金属リングと、直径 $d_2$ の超電導バルク材料（ここで $d_1 > d_2$ ）とを用い、金属リング中に超電導バルク材料を配置する工程と、超電導バルク材料と金属リングの隙間に樹脂を挿入する工程とを含むことを特徴とする請求項3記載のバルク超電導部材の製造方法。

【請求項6】 臨界温度以下に冷却され、かつ有限の磁場を発生している請求項1～3記載のバルク超電導部材からなるバルク超電導マグネット。

【請求項7】 請求項1～3記載のバルク超電導部材を、外部磁場下でかつ臨界温度以下に冷却された状態から外部磁場を取り除くことによって着磁することを特徴とするバルク超電導マグネットの製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は酸化物超電導体を用いたバルク超電導部材およびそれを用いたマグネットに関するものである。

## 【0002】

【従来技術】 $\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ （ここでREはY、Pr、Nd、Sm、Eu、Gd、Dy、Ho、Er、Tm、Yb、Luから選ばれる1種類または2種類以上の元素を示す）相中に $\text{RE}_2\text{BaCuO}_6$ または $\text{RE}_4\text{Ba}_2\text{Cu}_2\text{O}_{10}$ が微細分散した酸化物超電導体を用いた磁束トラップ型のバルク超電導マグネットは、特開平02-192104号公報によって報告されている。その後、種々の製造プロセスによって作製されたバルク材料を用い、バルクマグネットが試作され、その性能が向上しつつあり、またこのようなマグネットのモーター・発電機等への応用も活発に検討されている。

## 【0003】

【発明が解決しようとする課題】バルクマグネットは、77K（窒素の沸点）では現在のところ1 T程度の発生磁場が報告されているが、63K（窒素の融点）、51K（酸素の融点）などの比較的低温では、数Tのトラップ磁束密度が達成可能となる。そのような場合、超電導体は強い電磁力により破壊する可能性がある。森田らの報告（日本応用磁気学会誌 Vol.19, 744-747(1995)）では、バルク超電導材料をステンレス製のリングに取り付けられたネジによりスペーサーを介して支持し補強を行っているが、40Kでの磁束トラップ実験で試料内部にクラックが入り特性が低下したことが記載されている。このように強磁場を発生できるバルク超電導マグネットを実現するためには、超電導材料の補強方法が大きな課題であった。

## 【0004】

【課題を解決するための手段】磁化された超電導バルク材料を補強するには、 $\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ 相中に非超電導粒子である $\text{RE}_2\text{BaCuO}_6$ または $\text{RE}_4\text{Ba}_2\text{Cu}_2\text{O}_{10}$ が微細分散した円柱状または円筒状超電導バルク材料に熱膨張係数の違いを利用し、金属リングによる圧縮応力が超電導バルク材料の側面全体に加わるように金属リング中に超電導バルク材料を挟み込むように構成することであり、これが本発明の主旨である。さらに超電導バルク材料に、Pt、Rh、Ceが添加されている場合、非超電導粒子は微細化するため、超電導バルク材料の圧縮強度が向上する。またAgを添加したものは数十ミクロンのAg粒子が析出するため、同様に圧縮強度を高めることができる。

【0005】このようなバルク超電導部材の作製は、77Kにおいて内径 $d_1$ を有する金属リングと直径 $d_2$ を有する超電導材料（ここで $d_1 < d_2$ ）を、77K以上の温度において金属リング中に超電導バルク材料を挿入することによって行われる。このように、この製造方法の主旨は、77K以下の超電導状態において、金属リングにより超電導体に少なくとも圧縮応力がかかるようにし、磁化されたことによって発生する超電導体内の引っ張り応力を軽減することにある。

【0006】また、金属リングによる応力が超電導バルク材料の側面全体により均一にかかるようにするには、超電導バルク材料と金属リングの間に樹脂の層を設ければよい。この場合、内径 $d_1$ を有する金属リングと、直径 $d_2$ を有する超電導バルク材料（ここで $d_1 > d_2$ ）を用いて、金属リング中に超電導バルク材料を挟み込むように配置し、しかる後、超電導バルク材料と金属リングの隙間に樹脂を挿入して固化させればよい。この製造方法の主旨は、室温より低温（当然、臨界温度以下においても）において、金属リングにより超電導体に圧縮応力がかかるようにし、磁化されたことによって発生する超電導体内の引っ張り応力を軽減することにある。

【0007】さらにバルク超電導部材は着磁されてはじめてマグネットとして機能する。着磁方法としては、磁

場中で超電導状態に冷却した後、外部磁場を取り除く方法や、超電導状態に冷却された状態でパルス磁場を印加する方法などがある。いずれの場合も、着磁は超電導状態に冷却されかつ磁場が印加された状態から外部磁場を除去することによって行われる。このようにして作製したバルク超電導マグネットの概略図を図1、2に示す。

#### 【0008】

【発明の実施の形態】上記の超電導バルク材料はa-b面間(c軸と垂直な方向)にマイクロクラックがある。そのため超電導電流がa-b面内に流れるように磁化することが望ましい。マグネットの形状は超電導電流の分布が軸対称になる円盤状が望ましい、しかしながら、複数のマグネットを組み合わせる場合、正六角形ないしは、6回対称の形状でもよい。また補強リングについても同様であり、円筒形状または6回対称のリング形状であればよい。これらのことから、効率よく磁場を発生させるには、円盤の軸方向に着磁することが望ましい。

【0009】上記のように着磁されたバルク超電導体(マグネット)には、外周方向に引っ張り応力が加わる。この応力は中心で最大となる。超電導材料の引っ張り強度は、10~20mmサイズの試料で約70MPa、40~50mmサイズの材料で15MPa程度と言われている。直径46mm、厚さ15mmの材料に試料表面で約7Tの磁場を捕捉させた場合、試料中心部には約70MPaの応力が加わる。この応力を打ち消すように補強するには、試料の外周から圧縮応力を加えればよい。圧縮応力を印加するには、超電導体と金属の熱膨張係数の違いを利用し、前述した本願発明の方法を用いればよい。室温から77Kまで冷却した場合、各素材の熱膨張は、超電導体で約-0.20%、アルミは-0.41%、銅は-0.31、ステンレスは約-0.29である。また、それぞれの剛性の大小関係は、(アルミ<銅<ステンレス)であり、室温から77K冷却によって得られる圧縮応力は上記3種類の金属であまり変わらない。作業の容易さやマグネットの使用条件によって最も適当なものを選べばよい。

#### 【0010】

##### 【実施例】実施例1

Ptを0.5重量%含み、かつ $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ 中に $Y_2BaCuO_5$ が微細分散した室温で直径44.0mm、高さ15.0mmの単結晶状の円柱型超電導バルク材料を77Kに冷却した。この材料のc軸は、円柱の軸とほぼ一致していた。一方、室温で内径43.9mm、外径53.9mmのサイズを有するアルミリングを300℃に加熱した後、すばやく室温空間で上記超電導バルク材料をアルミリングにはめ込んだ。

【0011】こうして得られた部材を10Tの磁場中で40Kに冷却し、しかる後、外部磁場を取り除いたところ試料表面で9.5Tの磁場を捕捉していた。9.5Tの捕捉磁場はこのようなアルミリングで補強しない場合、試料中心部で約100MPaの引っ張り応力を与える。

【0012】比較例として同様の超電導バルク材料をアルミリングによる補強無しで同様な実験を行ったところ、10Tから8.9Tに減磁した時に超電導バルク材料は割れた。このことから、アルミリングにより超電導材料が補強され、大きな磁場を発生できるマグネットが作製できた。

#### 【0013】実施例2

$YBa_2Cu_3O_{7-x}$ 中に $Y_2BaCuO_5$ が微細分散した、室温で外径44.0mm、内径10mm、高さ15.0mmの単結晶状の円筒型超電導バルク材料を作製した。この材料のc軸は、円筒の軸とほぼ一致していた。これに、室温で内径44.1mm、外径54.1mmのサイズを有するステンレスリングを作製し、室温空間で上記超電導バルク材料をステンレスリングにはめ込み、隙間に硬化性樹脂を挿入した後硬化させた。この材料を10Tの磁場中で40Kに冷却し、しかる後、外部磁場を取り除いたところ試料中心部で9.6Tの磁場を捕捉していた。

【0014】比較例として同様の超電導バルク材料をステンレスリングによる補強無しで同様な実験を行ったところ、10Tから9.0Tに減磁した時に超電導バルク材料は割れた。このことから、ステンレスリングと硬化性樹脂により超電導材料が補強され、大きな磁場を発生できるマグネットが作製できた。

#### 【0015】実施例3

Ceを0.5重量%、Agを10wt%含み、かつ $(Nd_{0.5}Sm_{0.5})Ba_2Cu_3O_{7-x}$ 中に $(Nd_{0.5}Sm_{0.5})_2Ba_2Cu_3O_{10}$ が微細分散した室温で直径44.0mm、高さ15.0mmの単結晶状の円柱型超電導バルク材料を77Kに冷却した。この材料のc軸は、円柱の軸とほぼ一致していた。一方、室温で内径43.9mm、外径53.9mmのサイズを有する銅リングを300℃に加熱した後、すばやく室温空間で上記超電導バルク材料を銅リングにはめ込んだ。この材料を10Tの磁場中で40Kに冷却し、しかる後、外部磁場を取り除いたところ試料表面で9.6Tの磁場を捕捉していた。

【0016】比較例として同様の超電導バルク材料を銅リングによる補強無しで同様な実験を行ったところ、10Tから7.5Tに減磁した時に超電導バルク材料は割れた。このことから、銅リングにより超電導材料が補強され、大きな磁場を発生できるマグネットが作製できた。

#### 【0017】実施例4

約0.01%酸素のArガス中で作製した、Ceを0.5重量%、Agを10wt%含んだ $SmBa_2Cu_3O_{7-x}$ 中に $Sm_2BaCuO_5$ が微細分散した円柱型超電導バルク材料(室温で直径44.0mm、高さ15.0mmの単結晶状材)を77Kに冷却した。この材料のc軸は、円柱の軸とほぼ一致していた。一方、室温で内径43.9mm、外径53.9mmのサイズを有する銅リングを作製し、この中に77Kに冷却した上記超電導バルク材料をすばやく室温空間ではめ込んだ。この材料を10Tの磁場中で40Kに冷却し、しかる後、外部磁場を取り除いたところ試料表面で9.6Tの磁場を捕捉していた。

【0018】比較例として同様の超電導バルク材料を銅リングによる補強無しで同様な実験を行ったところ、10 Tから7.5Tに減磁した時に超電導バルク材料は割れた。このことから、銅リングにより超電導材料が補強され、大きな磁場を発生できるマグネットが作製できた。

【0019】

【発明の効果】以上述べたように、本願発明は超電導材料の割れを防ぎ、強い磁場を発生できるマグネットを提供するものであり、その工業的效果は甚大である。

【図面の簡単な説明】

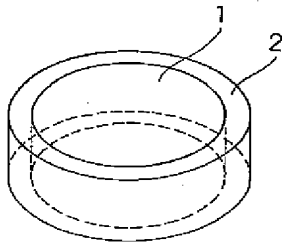
【図1】金属リングにより補強されたバルク超電導マグネットを示す図。

【図2】金属リングと樹脂で補強されたバルク超電導マグネットを示す図。

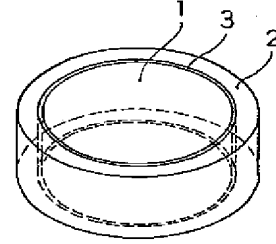
【符号の説明】

- 1 超電導バルク材料
- 2 金属リング
- 3 樹脂

【図1】



【図2】



PAT-NO: JP411335120A  
DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 11335120 A  
TITLE: BULK SUPERCONDUCTING  
MATERIAL, MAGNET AND THEIR  
PRODUCTION  
PUBN-DATE: December 7, 1999

INVENTOR-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
MORITA, MITSURU	N/A

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
NIPPON STEEL CORP	N/A

APPL-NO: JP10160019  
APPL-DATE: May 26, 1998

INT-CL (IPC): C01G003/00 , C01G001/00 , H01B012/00 ,  
H01B013/00

ABSTRACT:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a magnet composed of a columnar or cylindrical superconducting bulk material comprising an oxide superconducting material containing RE<sub>2</sub>BaCuO<sub>5</sub> or RE<sub>4</sub>Ba<sub>2</sub>Cu<sub>2</sub>O<sub>10</sub> finely dispersed in a superconducting phase having a specific composition and a metallic ring surrounding the bulk material and effective for preventing the breakage of the superconducting material and capable of generating strong magnetic field by the application of the compressive stress of the ring to the whole side face of the bulk material.

**SOLUTION:** This superconducting phase is expressed by  $\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  (RE is an element selected from Y, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Ho, Er, Tm, Yb and Lu). The oxide superconducting material contains Pt, Rh, Ce and/or Ag. The bulk superconducting material can be produced by using a metallic ring having an inner diameter of  $d_1$  at 77K and a superconducting material having a diameter of  $d_2$  and inserting the superconducting material into the metallic ring at  $\geq 77\text{K}$ . A resin layer is preferably placed between the superconducting bulk material and the metallic ring to uniformly apply the stress of the metallic ring 2 to the whole side face of the superconducting bulk material 1.

**COPYRIGHT:** (C)1999,JPO